

## Optical compensator for improved gray scale performance in liquid crystal display.

Patent Number: ☐ EP0676660, B1  
Publication date: 1995-10-11  
Inventor(s): GUNNING WILLIAM J III (US); HALE LEONARD G (US); TABER DONALD B (US); WINKER BRUCE K (US)  
Applicant(s):: ROCKWELL INTERNATIONAL CORP (US)  
Requested Patent: ☐ JP7306406  
Application Number: EP19950105034 19950404  
Priority Number (s): US19940223251 19940404  
IPC Classification: G02F1/1335 ; G02B5/30  
EC Classification: G02F1/13363G, G02F1/13363T  
Equivalents: CN1118883, DE69521548D, KR259762, ☐ US5504603

### Abstract

A liquid crystal display for viewing at various angles with respect to a normal axis perpendicular to the display includes a polarizer layer having an absorbing axis, an analyzer layer having an absorbing axis substantially perpendicular to the absorbing axis of the polarizer layer, a liquid crystal layer disposed between the polarizer layer and the analyzer layer and having a director exhibiting an azimuthal twist through the layer with respect to the normal axis, a first electrode proximate to a first major surface of the liquid crystal layer, a second electrode proximate to a second major surface of the liquid crystal layer, the first and second electrodes being adapted to apply a voltage across the liquid crystal layer when the electrodes are connected to a source of electrical potential, and a compensator, including a positively birefringent O-plate compensator layer disposed between the polarizer layer and the analyzer layer with its principal symmetry axis oriented at a substantially oblique angle with respect to the normal axis.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-306406

(43) 公開日 平成7年(1995)11月21日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F	1/1335	5 1 0		
	1/133	5 0 5		
	1/1333			
	1/1337			

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願平7-77760

(22) 出願日 平成7年(1995)4月3日

(31) 優先権主張番号 2 2 3 2 5 1

(32) 優先日 1994年4月4日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 590002448

ロックウェル・インターナショナル・コー  
ポレイション

ROCKWELL INTERNATIONAL  
CORPORATION

アメリカ合衆国、90740-8250 カリフォル  
ニア州、シール・ビーチ、シールビー  
チ・プールバード、2201

(72) 発明者 ブレース・ケイ・ウィンカー

アメリカ合衆国、93021 カリフォルニア  
州、ムーアパーク、シュガー・メイプル・  
ストリート、4438

(74) 代理人 弁理士 深見 久郎 (外3名)

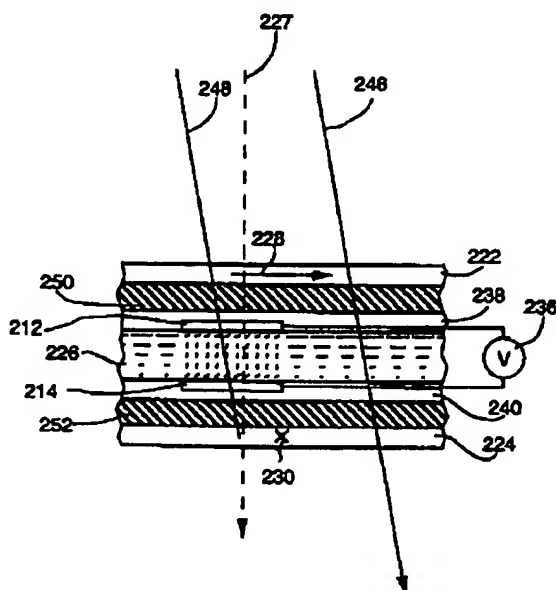
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ディスプレイと直角をなす法線軸に関し様々な角度で見るための液晶ディスプレイ

(57) 【要約】

【目的】 ディスプレイと直角をなす法線軸に関し様々な角度で見るための液晶ディスプレイを提供する。

【構成】 この発明の液晶ディスプレイは、吸収軸を有する偏光子層と、偏光子層の吸収軸と実質的に直角をなす吸収軸を有する検光子層と、偏光子層と検光子層との間に配置され、層を通して法線軸に関する方位のねじれを示すディレクタを有する液晶層と、液晶層の第1の主表面の近くに第1の電極と、液晶層の第2の主表面の近くに第2の電極とを含み、第1および第2の電極は、電極が電位のソースに接続されたとき液晶層を通して電圧を印加するように適合され、液晶ディスプレイはさらに、主対称軸を法線軸に関し実質的に斜角で配向して偏光子層と検光子層との間に配置された、正に複屈折のオープレート補償器層を含む補償器を含む。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ディスプレイと直角をなす法線軸に関し様々な角度で見るための液晶ディスプレイであって、吸収軸を有する偏光子層と、偏光子層の吸収軸と実質的に直角をなす吸収軸を有する検光子層と、

偏光子層と検光子層との間に配置され、層を通して法線軸に関する方位のねじれを示すディレクタを有する液晶層と、

液晶層の第1の主表面の近くに第1の電極と、

液晶層の第2の主表面の近くに第2の電極とを含み、第1および第2の電極は、電極が電位のソースに接続されたとき液晶層を通して電圧を印加するように適合され、液晶ディスプレイはさらに、

主対称軸を法線軸に関し実質的に斜角で配向して偏光子層と検光子層との間に配置された、正に複屈折のO-プレート補償器層を含む補償器を含む、液晶ディスプレイ。

【請求項2】 O-プレート層の主対称軸はさらに、液晶層の中央領域における平均液晶ディレクタの配向とおよそ直角をなすように、液晶層に対するBV曲線のグレースケール遷移領域における電圧で配向される、請求項1に記載の液晶ディスプレイ。

【請求項3】 O-プレート層の主対称軸はさらに、液晶層の中央領域における平均液晶ディレクタの法線軸に関する配向角とおよそ等しい、法線軸に関する角度で、液晶層に対するBV曲線のグレースケール遷移領域における電圧で、配向され、O-プレート層の主対称軸の、法線軸のまわりでの方位の配向は、平均液晶ディレクタの方位の配向に関しおよそ180°回転する、請求項1に記載の液晶ディスプレイ。

【請求項4】 補償器はさらに、偏光子層と検光子層との間に配置された、正に複屈折のA-プレート補償器層を含み、A-プレート層はその光学軸がO-プレート層の光学軸に関し、法線入射で補償器を通る光のリタデーションが最小になるように配向される、請求項1に記載の液晶ディスプレイ。

【請求項5】 補償器はさらに、偏光子層と検光子層との間に配置された、負に複屈折のC-プレート補償器を含む、請求項1に記載の液晶ディスプレイ。

【請求項6】 O-プレート層はさらに第1の正に複屈折のO-プレート補償器層を含み、補償器はさらに、偏光子層と検光子層との間に配置された第2の正に複屈折のO-プレート補償器層を含み、その光学軸は法線軸に関し実質的に斜角で配向され、第1および第2のO-プレート層の方位角は交差する、請求項1に記載の液晶ディスプレイ。

【請求項7】 ディスプレイと直角をなす法線軸に関し様々な角度で見るための液晶ディスプレイであって、吸収軸を有する偏光子層と、

偏光子層の吸収軸と実質的に直角をなす吸収軸を有する検光子層と、

偏光子層と検光子層との間に配置され、層を通して法線軸に関する方位のねじれを示すディレクタを有する液晶層と、

液晶層の第1の主表面の近くに第1の電極と、

液晶層の第2の主表面の近くに第2の電極とを含み、第1および第2の電極は、電極が電位のソースに接続されたとき液晶層を通して電圧を印加するように適合され、

10 液晶ディスプレイはさらに、

補償器を含み、補償器はさらに、

光学軸を法線軸に関し実質的に斜角で配向して、偏光子層と検光子層との間に配置された、正に複屈折のO-プレート補償器層と、

液晶層とO-プレート層との間に配置された正に複屈折のA-プレート補償器層とを有し、A-プレート層はその光学軸がO-プレート層の光学軸に関し、法線入射で補償器を通る光のリタデーションが最小になるように配向される、液晶ディスプレイ。

20 【請求項8】 ディスプレイと直角をなす法線軸に関し様々な角度で見るための液晶ディスプレイであって、吸収軸を有する偏光子層と、

偏光子層の吸収軸と実質的に直角をなす吸収軸を有する検光子層と、

偏光子層と検光子層との間に配置され、層を通して法線軸に関する方位のねじれを示すディレクタを有する液晶層と、

液晶層の第1の主表面の近くに第1の電極と、

液晶層の第2の主表面の近くに第2の電極とを含み、第1および第2の電極は、電極が電位のソースに接続されたとき液晶層を通して電圧を印加するように適合され、

30 液晶ディスプレイはさらに、

補償器を含み、補償器はさらに、

光学軸を法線軸に関し実質的に斜角で配向して偏光子層と液晶層との間に配置された、正に複屈折のO-プレート補償器層と、

偏光子層とO-プレート層との間に配置された、第1の正に複屈折のA-プレート補償器層と、

40 O-プレート層と液晶層との間に配置された第2の正に複屈折のA-プレート補償器層とを有し、第1および第2のA-プレート層は、その光学軸がO-プレート層の光学軸に関して、法線入射で補償器を通る光のリタデーションが最小になるように配向される、液晶ディスプレイ。

【請求項9】 ディスプレイと直角をなす法線軸に関し様々な角度で見るための液晶ディスプレイであって、吸収軸を有する偏光子層と、

偏光子層の吸収軸と実質的に直角をなす吸収軸を有する検光子層と、

50 偏光子層と検光子層との間に配置され、層を通して法線

軸に関する方位のねじれを示すディレクタを有する液晶層と、

液晶層の第1の主表面の近くに第1の電極と、

液晶層の第2の主表面の近くに第2の電極とを含み、第1および第2の電極は、電極が電位のソースに接続されたとき液晶層を通して電圧を印加するように適合され、

液晶ディスプレイはさらに、

補償器を含み、補償器はさらに、

光学軸を法線軸に関し実質的に斜角で配向して偏光子層と液晶層との間に配置された、正に複屈折のオープレート補償器層と、

オープレート層と液晶層との間に配置された、第1の正に複屈折のAプレート補償器層と、

液晶層と検光子層との間に配置された、第2の正に複屈折のAプレート補償器層とを有し、第1および第2のAプレート層は、その光学軸がオープレート層の光学軸に関し、法線入射で補償器を通る光のリタデーションが最小になるように配向される、液晶ディスプレイ。

【請求項10】 ディスプレイと直角をなす法線軸に関し様々な角度で見るための液晶ディスプレイであって、

吸収軸を有する偏光子層と、

偏光子層の吸収軸と実質的に直角をなす吸収軸を有する検光子層と、

偏光子層と検光子層との間に配置され、層を通して法線軸に関する方位のねじれを示すディレクタを有する液晶層と、

液晶層の第1の主表面の近くに第1の電極と、

液晶層の第2の主表面の近くに第2の電極とを含み、第1および第2の電極は、電極が電位のソースに接続されたとき液晶層を通して電圧を印加するように適合され、

液晶ディスプレイはさらに、

補償器を含み、補償器はさらに、

光学軸を法線軸に関し実質的に斜角で配向して偏光子層と液晶層との間に配置された、正に複屈折のオープレート補償器層と、

オープレート層と液晶層との間に配置された、正に複屈折のAプレート補償器層とを有し、Aプレート層は、その光学軸を、オープレート層の光学軸に関し、法線入射で補償器を通る光のリタデーションが最小になるように配向され、補償器はさらに、

Aプレート層と液晶層との間に配置された、負に複屈折のCプレート補償器層を有する、液晶ディスプレイ。

【請求項11】 ディスプレイと直角をなす法線軸に関し様々な角度で見るための液晶ディスプレイであって、

吸収軸を有する偏光子層と、

偏光子層の吸収軸と実質的に直角をなす吸収軸を有する検光子層と、

偏光子層と検光子層との間に配置され、層を通して法線軸に関する方位のねじれを示すディレクタを有する液晶

層と、

液晶層の第1の主表面の近くに第1の電極と、

液晶層の第2の主表面の近くに第2の電極とを含み、第1および第2の電極は、電極が電位のソースに接続されたとき液晶層を通して電圧を印加するように適合され、液晶ディスプレイはさらに、

補償器を含み、補償器はさらに、

光学軸を法線軸に関し実質的に斜角で配向して偏光子層と液晶層との間に配置された、第1の正に複屈折のオープレート補償器層と、

第1のオープレート層と液晶層との間に配置され、その光学軸を、法線軸に関し実質的に斜角で配向し、第1および第2のオープレート層の方位角が交差する、第2の正に複屈折のオープレート補償器層と、

偏光子層と第1のオープレート層との間に配置された、

第1の正に複屈折のAプレート補償器層と、

第2のオープレート層と液晶層との間に配置された、第2の正に複屈折のAプレート補償器層とを有し、第1および第2のAプレート層は、その光学軸が、オープレート補償器層の光学軸に関し、法線入射で補償器を通る光のリタデーションが最小になるように配向される、液晶ディスプレイ。

【請求項12】 ディスプレイと直角をなす法線軸に関し様々な角度で見るための液晶ディスプレイであって、

吸収軸を有する偏光子層と、

偏光子層の吸収軸と実質的に直角をなす吸収軸を有する検光子層と、

偏光子層と検光子層との間に配置され、層を通して法線軸に関する方位のねじれを示すディレクタを有する液晶層と、

液晶層の第1の主表面の近くに第1の電極と、

液晶層の第2の主表面の近くに第2の電極とを含み、第1および第2の電極は、電極が電位のソースに接続されたとき液晶層を通して電圧を印加するように適合され、

液晶ディスプレイはさらに、

補償器を含み、補償器はさらに、

光学軸を法線軸に関し実質的に斜角で配向して偏光子層と液晶層との間に配置された、第1の正に複屈折のオープレート補償器層と、

光学軸を法線軸に関し実質的に斜角で配向して液晶層と検光子層との間に配置された、第2の正に複屈折のオープレート補償器層と、

偏光子層と第1のオープレート層との間に配置された、

正に複屈折のAプレート補償器層とを有し、Aプレート層は、その光学軸を、第1のオープレート層の光学軸に関し、法線入射で補償器を通る光のリタデーションが最小になるように配向され、補償器はさらに、

第1のオープレート層と液晶層との間に配置された、第1の負に複屈折のCプレート補償器層と、

液晶層と第2のオープレート層との間に配置された、第

2の負に複屈折のC-プレート補償器層とを有する、液晶ディスプレイ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の背景】この発明は液晶ディスプレイの設計に関し、特に、広範囲の視角にわたって高いコントラスト比および相対的なグレーレベルにおける最小の変化を維持することにより、このようなディスプレイの視界を最大限にするための技術に関する。

【0002】液晶は電氣的ディスプレイに有効である、というも、液晶層を進行する偏光は、層への電圧の印加により変化し得る、層の複屈折により影響を受けるからである。この効果を用いることにより、周辺光を含め、外部ソースからの光の透過または反射は、その他の形式のディスプレイにおいて用いられる発光物質に対して必要な電力よりもはるかに小さな電力で制御できる。結果として、液晶ディスプレイは現在、デジタル時計、計算機、ポータブルコンピュータ、およびその他の多くのタイプの電気装置といった、様々なアプリケーションにおいて共通して使用されており、これらアプリケーションにおいて、動作寿命が長く、かつ軽量で電力消費が少ないといった利点を示している。

【0003】多くの液晶ディスプレイにおける情報の内容は、ディスプレイ上であるパターンに配置されたセグメント化された電極により発生する、数字または文字の多数の行の形式で提示される。電極のセグメントは、個々のリード線により電気駆動回路に接続され、電圧をセグメントの適切な組合せに印加し、それによりセグメントを透過する光を制御することにより所望の情報を表示する。グラフィックおよびテレビのディスプレイは、2セットの垂直の導体間のX-Y順次的アドレス方式により接続される、ディスプレイの画素のマトリクスを採用することにより達成してもよい。主としてねじれネマチック液晶ディスプレイに應用されるさらに進歩したアドレス方式は、薄膜トランジスタのアレイを用いて個々の画素での駆動電圧を制御する。

【0004】相対グレースケール濃度のコントラストおよび安定性は、液晶ディスプレイの品質を決定する上で重要な特性である。液晶ディスプレイにおいて達成可能なコントラストを制限する主要因は、暗状態でディスプレイを通して漏れる光の量である。さらに、液晶装置のコントラスト比はまた、見る角度次第である。典型的な液晶ディスプレイにおけるコントラスト比は、最大でも法線入射のまわりに集中する狭い視角内ではなく、見る角度が増加するにつれて減少する。コントラスト比の低下は、視角が大きな時の黒状態の画素を通して漏れる光により発生する。カラー液晶ディスプレイでは、このような漏出がまた、飽和色およびグレースケール色の両方に対して大きく色の変化を引起す。典型的な先行技術のねじれネマチック液晶ディスプレイにおいて、グ

ースケールの安定性が許容範囲である見るゾーンは、大きく制限される、というも、暗状態の漏出により引起こされる色の変化に加え、液晶分子の光学的異方性の結果、グレーレベルの透過の大きな変化、すなわち、視角の関数としての明るさ-電圧曲線の変化が生じるからである。この変化のため、極度の垂直角では、グレーレベルのいくつかはその透過レベルが逆になる。航空電子工学といった、操縦士と副操縦士の座っている位置両方からコックピットのディスプレイを見ることが重要な、高品質のディスプレイを必要とするアプリケーションには、これら制限は特に重要である。このような高度な情報内容のディスプレイは、相対グレーレベルの透過が、見る角度に関しできるだけ変化しないことを必要とする。広範囲の視界にわたって、高品質かつハイコントラストの像を提示することができる液晶ディスプレイを提供することは、この技術における重要な改良であろう。

【0005】

【発明の概要】この発明の補償器の設計は、特別の配向を有して正に複屈折のO-プレート層を含むが、広範囲の視角にわたる液晶ディスプレイのグレースケール特性およびコントラスト比において、重大な改良を可能にする。ディスプレイと直角をなす法線軸に関し様々な角度で見るための液晶ディスプレイは、吸収軸を有する偏光子層と、偏光子層の吸収軸と実質的に直角をなす吸収軸を有する検光子層と、偏光子層と検光子層との間に配置され、層を通して法線軸に関する方位のねじれを示すディレクタを有する液晶層と、液晶層の第1の主表面の近くに第1の電極と、液晶層の第2の主表面の近くに第2の電極とを含み、第1および第2の電極は、電極が電位のソースに接続されたとき液晶層を通して電圧を印加するように適合され、液晶ディスプレイはさらに、主対称軸を法線軸に関し実質的に斜角で配向して偏光子層と検光子層との間に配置された、正に複屈折のO-プレート補償器層を含む、補償器を含む。

【0006】さらに特定のな実施例では、O-プレート層の主対称軸はさらに、液晶層の中央領域における平均液晶ディレクタの配向とおよそ直角をなすように、液晶層に対するBV曲線のグレースケール遷移領域における電圧で、配向される。

【0007】代替の実施例においては、O-プレート層の主対称軸はさらに、液晶層の中央領域における平均液晶ディレクタの、法線軸に関する配向角におよそ等しい角度で、液晶層に対するBV曲線のグレースケール遷移領域における電圧で、法線軸に関して配向され、O-プレート層の主対称軸の法線軸のまわりでの方位の配向は、平均液晶ディレクタの方位の配向に関しおよそ180°回転する。

【0008】補償器はまた、1つ以上の正に複屈折のA-プレート補償器層を含み、各A-プレート層は、その光学軸をO-プレート層の光学軸に関して、法線入射で

補償器を通る光のリタデーションが最小になるように、配向される。

【0009】さらに、1つ以上の負に複屈折のC-プレート補償器層が、補償器に加えられてもよい。

【0010】O-プレート層は、その光学軸を法線軸に関し実質的に斜角で配向して、第1および第2のO-プレート層の方位角が交差し2つのO-プレートがしたがって交差するO-プレートを構成するように、第2の正に複屈折のO-プレート補償器層により結合されてもよい。

【0011】

【発明の説明】直線的に見れば、ねじれネマチック液晶ディスプレイは高品質の出力を提供するが、視角が大きい場合、像の質は低下し、乏しいコントラストおよびグレースケールの不均等性を示す傾向がある。このことが発生するのは、液晶を通る光に対する液晶物質の位相リタデーション効果が、光の傾角とともに本質的に変化し、大きな視角では像の質が落ちるからである。しかし、液晶セルと関連付けて1つ以上の光学補償素子を導入することにより、望ましくない角効果を実質的に補正し、そうすることにより、別のやり方で可能な角度よりも大きな視角での、ハイコントラストおよび安定したグレースケール濃度を維持する。

【0012】「通常は白い」ディスプレイ構成においては、90°ねじれたネマチックセルは、各偏光子の透過軸が偏光子に隣接するセルの領域で液晶分子のディレクタの配向に平行または直角をなすように、交差する偏光子の間に位置付けられる。「無選択」（印加電圧なし）領域は、通常は白いディスプレイにおいては明るく見え、一方「選択」領域（印加電圧によりエネルギーを与えられている）は、暗く見える。選択領域では、液晶分子は、与えられた電界と整列する方へ傾き、回転する傾向がある。このアライメントが完全にホメオトロピック（homeotropic）であれば、セル内のすべての液晶分子は、その長い軸を基板ガラスと直角をなすように配向されるだろう。ねじれネマチックディスプレイに用いられる液晶は、正の複屈折を示すため、ホメオトロピック構成として知られるこの配置は、正に複屈折のC-プレートの光学的対称を示すだろう。C-プレートは、その異常軸（すなわちその光学またはc-軸）がプレートの表面と直角をなす（法線入射光の方向と平行）、一軸複屈折プレートである。選択状態では、通常は白いディスプレイにおける液晶は、交差する偏光子により遮断されるであろう法線入射光に対し等方性があるように見えるだろう。

【0013】通常は白いディスプレイにおいて発生する、視角の増大に伴うコントラストの低下の理由の1つは、ホメオトロピック液晶層は、垂直から外れた光に対し等方性があるように見えないからであろう。垂直から外れた角度で層を伝搬する光は、光の複屈折のために2

つのモードで見え、位相遅延がこの2つのモードの間で導入されて光の入射角とともに増加する。入射角に対するこの位相の依存性は、第2の偏光子による排除が不完全であった偏光状態に楕円性をもたらし、光の漏出を発生する。この効果を補正するために、光学補償素子はC-プレート対称をまた有さねばならないが、負の（ $n_<n_>$ ）複屈折を伴う。このような補償器は、液晶層により引起こされる位相遅延と正弦において反対の位相遅延を導入し、もとの偏光状態を回復させ、層のエネルギーを与えられた領域を通る光が、出力偏光子によりさらに完全に遮断されることを可能にするだろう。しかしC-プレート補償は視角に伴うグレースケールの変化に影響を与えず、このことについてはこの発明で述べられている。

【0014】図1は、液晶および複屈折補償器光学軸の両方の配向を説明するために用いられる座標系を示す。光は正のzの方向104に、視る人102に向かって伝搬し、x軸106およびy軸108とともに右手座標系を形成する。矢印112で示されるように、負のz方向からバックライトが与えられる。極または傾斜角（ $\theta$ ）は、x-y平面から測定される、分子光学軸 $c^*$ （ $c^*$ は本来cの上に示される）およびx-y平面との間の角として規定される。方位またはねじれ角（ $\phi$ ）はx軸から、x-y平面への光学軸の射影110までとして測定される。

【0015】図2は、この発明に従って構成された、ねじれネマチックで、透過型の、通常は白い液晶ディスプレイ（LCD）の、概略側面断面図である。ディスプレイは偏光子層222と検光子層224を含み、その間には、ネマチック相の液晶物質からなる、液晶層226が位置付けられる。この発明の補償素子を説明する上で、点線227で描かれる、ディスプレイと直角をなす法線軸を引用することは便宜的である。（図の平面において偏光方向を表わす）記号228、および（図の平面に直交する偏光方向を表わす）記号230により示された、偏光子および検光子は、通常は白いディスプレイに対する場合と同じように、偏光方向を互いに90°にして配向される。第1の透明電極212および第2の透明電極214は、電圧が電圧ソース236により液晶層を通して印加されるように、液晶層の両側の表面に隣接するように位置付けられる。液晶層がさらに、1対のガラスプレート238および240の間に挟まれている。以下さらに説明されるように、液晶層226の近くの、ガラスプレート238および240の内側の表面は、たとえば研磨により、物理的または化学的に処理される。

【0016】LCD技術（例、『フィジックストゥデイ（Physics Today）』（1982年5月）、P. 68、カーン（Kahn）による、「液晶デバイスの分子物理学（The Molecular Physics of Liquid-Crystal Devices）」参照）において周知であるように、液晶層226

の物質がネマチック相にあり、プレート238および240の内側表面(層226に隣接する表面)が、ポリイミドといった液晶を整列させるための表面処理で被覆され、研磨され、研磨の方向に対して垂直に配向されたとき、印加された電圧のない、液晶物質のディレクタ $n$ は、研磨された方向(「摩擦方向」として知られる)と、プレート238および240の各々に近い層の領域で、整列する傾向があるだろう。さらに、ディレクタは、法線軸に関し、層226の中の経路に沿い $90^\circ$ 、プレート238に隣接する第1の主表面から、プレート240に隣接する第2の主表面へ、スムーズにねじれるだろう。したがって、与えられた電界のない状態で、入来する偏光の方向は、液晶層を進行する上で $90^\circ$ 回転するだろう。偏光子228および検光子230といった、交差する偏光子の間で、ガラスプレートおよび液晶層が位置付けられるとき、光線246で例示されるような、偏光子228により偏光されディスプレイを進む光は、こうして検光子230の偏光の方向に整列し、したがって検光子を通るだろう。しかし、電極212および214に十分な電圧が印加されるとき、与えられた電界により、液晶物質のディレクタは、電界に平行して整列する傾向がある。この状態の液晶物質を用いて、光線248で図示される、偏光子228が通る光は、検光子230により消滅させられる。こうして、エネルギーを与えられた1対の電極は、ディスプレイの暗い領域を作り出し、一方、与えられた電界にさらされないディスプレイの領域を通る光は、照らされた領域を生出す。LCDディスプレイ技術で周知のように、選択された組合せにより活性化される、電極の適切なパターンは、この態様で利用されて文字数字またはグラフィック情報を表示する。以下さらに説明されるように、層250および252といった1つ以上の補償器層をディスプレイに含めて、ディスプレイの品質を改良してもよい。

【0017】図3は、(セルギャップが単体に直角にされた) $90^\circ$ ねじれネマチックセルの液晶層における位置の関数としての、液晶のディレクタの傾斜の、計算図である。この図は、電圧が印加されていないとき(曲線302)、典型的選択状態電圧(曲線304)、および線形的に間隔をあけられたグレーレベルを生むように選択されたいくつかの中間電圧の印加の下での(曲線306、308、310、312、314、および316)、分子傾斜角の典型的な分布を図示する。グレーレベル曲線は、セルの中間のおよそ $45^\circ$ の傾斜角のまわりに集中することに注意されたい。

【0018】図4は、同じセルに対する関連の図であり、セル内の位置の関数としての、液晶分子の計算されたねじれ角を示す。電圧が印加されていないとき、ねじれは、セルに均等に分布する(直線402)。完全選択状態電圧においては、ねじれ角は、極限的な、S形曲線404により示されるように分布する。グレーレベルに

対するねじれの分布は、これら2つの曲線の間の中間の曲線により示される。

【0019】図3および図4で図示されるように、完全選択電圧が印加されるとき、液晶分子に起こるほとんどすべてのねじれ、および傾斜のかかなりの部分は、セルの中央領域で発生する。この現象のため、セル内の分子の配向の連続する変化は、2つの領域に分離されることができ、その各々はそれ自身の光対称により特徴付けられる。したがって、中央領域318(図3)および418(図4)は、名目上は完全選択状態においてホメオトロピックであり、C-プレートの特性に近似すると考えることができる。セルの各表面近くの、A-プレートとして働く、領域320および322(図3)、ならびに420および422(図4)は、各々はその異常軸を近くの基板の摩擦方向と整列させている。領域320、322、420、および422の分子には本質的にねじれはないため、これら分子は本質的に、液晶層のどちらかの側で、それぞれの研磨方向と整列する。さらに、領域320および420における分子のねじれ角は、領域322および422における分子のねじれ角と直角をなす傾向があるため、これら2つの領域の、セルの中を進行する光に対する効果は取消される傾向があり、中間のC-プレート領域が主たる影響を及ぼし続ける。

【0020】負のC-プレート補償器は、中央の、ほぼC-プレート領域を伝搬することによりもたらされる、角による移相を補正するために設計される。このような補償器は、この領域の光学対称が液晶セルの選択状態を支配する限り、すなわち、分子が与えられた電界に整列する限り、効果的である。このことが意味するのは、負のC-プレートの補償は、エネルギー状態に対し強い電界が用いられたとき最高に働く、というのもこうしてホメオトロピックの近似がさらにほぼ正確になるからである。C-プレートの使用は、拡大された視界に対して暗状態の漏出を大きく減じ、したがってコントラストを改良し、色の非飽和を減ずると証明されている。

【0021】C-プレート補償器の使用は、色の非飽和を排除するためには重要であるが、グレースケールの問題は独立したものである。視界に対するグレースケールの線形性の問題は、選択(通常に白いディスプレイに対しては黒)、および非選択(通常に白いディスプレイに対しては白)状態の間に割当てられたレベルに対する明るさのレベルの変化に専ら関するものである。選択黒状態であるレベル0から、非選択白状態であるレベル7まで、8つのグレーレベルが割当てられるディスプレイに対する、明るさ対電圧(BV)電気光学応答曲線について考える。0から7の間のグレーレベルは、選択および非選択電圧の間に、BV曲線に沿い、明るさにおいて線形的に間隔をあけられた1セットの電圧を割当てることにより選択される。

【0022】図5は、水平方向の視角が0から $50^\circ$ ま



で $10^\circ$ ずつ増加し、垂直方向の視角が $0$ に固定される  
ときの、通常は白い、 $90^\circ$ ねじれネマチックディス  
プレイに対する計算されたBV曲線の図である。(水平角  
に伴うBV曲線の変化は、水平の偏角が左方向か右方向  
かということからの影響を受けない。)グレーレベルが  
選択されるであろう各曲線の領域は、様々な水平角に  
対し、互いにほぼ重畳する。このことは、 $0$ 度で線形的  
に間隔をあけるように選択されたグレーレベルは、水平  
の視角が高くても、ほぼ線形に近いままであることを  
意味する。

【0023】グレースケールの線形性の問題は、垂直の  
視角が変化するときを生じる。これは図6で図示され  
るが、図6は、垂直方向の視角が $-30^\circ$ から $+30^\circ$ ま  
で変化し、一方水平方向の視角は $0$ に固定されたまま  
であるときの、通常は白い、 $90^\circ$ ねじれネマチック  
ディスプレイに対するBV曲線の図である。(法線から測  
定して) $0^\circ$ よりも低い角度に対しては、BV曲線は右に  
シフトし(高電圧)、最大から単調に落ちるが、 $0$ には  
届かない。

【0024】法線よりも上の角度に対しては、曲線は左  
にシフトし、最初の最小値の後リバウンドを発展させ  
る。これらの効果は、図7に示されるように、法線の上  
から、法線から、および法線の下からディスプレイを  
見る人のパースペクティブを考えることにより説明で  
きる。重要な特徴は、見る人に向かって進行する光と、  
電圧が増加するにつれてのセルの中心における平均液  
晶ディレクタ傾斜との間の関係である。

【0025】電圧が増加するにつれ、セルの中心の平均  
液晶ディレクタは、平行の配向 $702$ からホメオトロピ  
ックな配向 $704$ に向かって傾斜する。法線入射での視  
る人に対して、リタデーションは、無選択状態電圧で最  
高であり、選択状態電圧で最低である。異方性が $0$ の  
とき、光の偏光状態は変化せず、検光子により遮断さ  
れる。したがって、見る人は、電圧の増加とともに、明  
るさは $0$ に単調減少するのを見る。見る方向が正の垂直  
の場合(見る人が法線入射よりも上)について考察する。  
ある中間電圧では、平均ディレクタ $706$ は、見る人の  
方向を指し、リタデーションは最小である。この場合  
見る人は、最初は減少するが次に最小のリタデーション  
の点で最小となりそれから増加する電圧とともに、明る  
さを見る。

【0026】見る方向が負の垂直(見る人が法線入射  
よりも下)に対し、平均ディレクタは常に、電圧が最高  
のときでさえ、光線に対する大きな異方性を示す。見る  
人はしたがって明るさにおいて単調な減少を見る。さら  
に、平均液晶ディレクタは常に、法線よりも下の見る  
人に対する光線に関し、法線入射での見る人に対する  
よりも大きな角度で配向される。したがって、見る方向  
が負の垂直の場合、法線入射の場合よりも、異方性は  
大きく、明るさのレベルは常に高い。

【0027】BV曲線の垂直角に対する依存性は、グ  
レースケールの線形性に重大な影響を及ぼす。図6の  
 $0$ 度の曲線に $50\%$ のグレーレベルを生むように選択  
された電圧は、 $+30$ 度曲線に暗状態を生み、 $-30$ 度  
に完全白状態を生むことに注意されたい。

【0028】グレーレベルの反転を排除し、グレース  
ケールの安定性を向上させるために、複屈折のO-プレ  
ート補償器層を含む補償器を提供することは、この発  
明の優れた特徴である。この発明のO-プレート補償  
器は、主光学軸をディスプレイの平面に関し実質的に  
斜角(oblique angle)で配向して、正の複屈折物質  
を利用する(そのため「O-プレート」と呼ぶ)。「実  
質的に斜角」とは、角度が $0^\circ$ よりもかなり大きく、 $90^\circ$   
より小さいことを示す。O-プレートはたとえば、  
ディスプレイの平面に関する角度を $35^\circ$ と $55^\circ$ の間、  
典型的には $45^\circ$ として、利用されている。さらに、  
一軸性または二軸性物質を有するO-プレートを利用  
できる。この発明のO-プレートは、偏光子層と検  
光子層との間の様々なロケーションに位置させること  
ができる。

【0029】この発明のグレースケール補償器はまた、  
より特定のな実施例では、A-プレートおよび/または  
負のC-プレートを含んでもよい。A-プレートは、異  
常軸(すなわちそのc-軸)を層の表面に平行になるよ  
うに配向させた、複屈折層である。そのA軸はこう  
して、表面に垂直(法線入射光の方向に平行)で配向  
され、A-プレートとしての指定につながる。A-プレ  
ートは、ポリビニルアルコール、またはその他の適切  
に配向される有機複屈折物質のような、一軸的に伸  
張するポリマーフィルムを用いることにより、製造さ  
れてもよい。C-プレートは、異常軸を層の表面と直  
角をなすように(法線入射光の方向に平行)配向され  
た、一軸複屈折層である。負に複屈折のC-プレート  
は、一軸的に圧縮されたポリマー(例、クラーク  
(Clerc)による米国特許番号第4,701,028号参照)、  
伸張されたポリマーフィルム、または物理的に蒸着  
させた無機薄膜(例、イエー(Yeh)による米国特  
許番号第5,196,953号参照)を用いることにより、  
製造されてもよい。

【0030】物理的蒸着による薄膜の傾斜堆積(例、  
モトヒロ、アプライドオブティクス(Applied Optics)、  
28巻(1989年)、P.2466-2482参照)を、O-プレ  
ート成分の製造のために用いることができる。この  
ような成分は本質的に二軸である。成長特性が顕  
微鏡的コラム構造を生む。コラムの角度は、蒸気の  
流れの到着方向に傾けられる。(法線から測定した)  
 $76^\circ$ の堆積角度はたとえば、およそ $45^\circ$ のコラム角  
度を発生する。コラムはシャドーイングの結果とし  
て楕円の断面を発展させる。この楕円の断面は、フ  
ィルムの二軸特徴を生じさせる。大きさおよび対称  
性における複屈折は、完全にフィルムの微細構造に  
起因し、形式複屈折と



呼ばれる。薄膜におけるこれらの現象は、マックロード (MacLeod) による、「薄膜の構造に関連する光学特性 (Structure-related Optical Properties of Thin Films)」、『J. Vac. Sci. Technol. A, volume 4, No. 3』p. 418-422 (1986) の中で、さらに詳しく研究され、述べられる。

【0031】一軸オープレート成分は同様に、一般に優れた機能を有する数多くの解決を提供する。これらは適切に配向された有機複屈折物質を用いて製造されてもよい。当業者は、一軸および二軸オープレートの両方を製作するためのその他の手段を認識するだろう。

【0032】この発明の補償器におけるオープレートは、その主対称軸を法線に関して実質的に斜角で配向される。特定の実施例では、この配向角は、BV曲線のグレースケール遷移領域の電圧で、液晶層の中央領域の平均液晶ディレクタの配向と名目上は等しい。さらに、特定の実施例では、主対称軸の方位の配向は、液晶ディレクタの方位の配向に関し、名目上180°回転する。この実施例におけるオープレート軸はこうして、セルの中央の平均液晶ディレクタにほぼ直角をなすように配向される。補償器はさらに、垂直入射でセルを横切る光に対するリタデーションを導入しないように構成されてもよい。これは、光学軸を名目上は直角にして、オープレートを正に複屈折のA-プレートと組合せることにより達成される。これらのリタデーションおよび相対角は、垂直入射でリタデーションを取消すように選択される。

【0033】このグレースケール補償層の使用による、グレースケールの反転の排除は、以下の態様で発生する。見る角度が正に垂直の場合、オープレートのリタデーションは、見る角度とともに増加し、液晶層の減少するリタデーションをオフセットする傾向がある。視る人が平均液晶ディレクタの軸を見下すとき、オープレートの存在により、2つの偏光子の間の層が等方性を持つように見えるのが妨げられる。したがって、図6に示されるBV曲線のリバウンドは減少し、グレースケールの電圧範囲を超えてより高電圧に移動する。

【0034】見る方向が負の垂直の場合、光学軸を名目上は直角にして、オープレートとA-プレートを組合せることにより、光学軸をオープレートとA-プレートの軸を含む平面と直角をなすように配向した負の複屈折リターダ (retarder) に類似する複屈折特性を表わす傾向がある。このリターダ軸の方向は、選択および非選択状態の間の電圧で駆動されるとき、セルの中央領域の平均液晶の配向に名目上は平行する。この態様で配向されたオープレートの存在により、液晶層の複屈折を取消し、BV曲線を引下げ、またはそれに相当する、低電圧の方向 (すなわち左) に移動させる傾向がある。同様の効果がまた、見る角度が水平の正および負の場合においても発生する。

【0035】この態様でこの発明のオープレート補償器

を導入する全体の効果は、グレースケール電圧領域における大きなリバウンドを排除し、見る角度が負から正の垂直角に変化するにつれて、BV曲線における左から右のシフトを減ずることである。補償器の光学軸の配向は、組合されたリタデーション効果が、見る角度が水平の場合のリバウンドを最小限にするだけでなく、見る角度が垂直入射の場合に互いに取消し合うように、注意深く選択される。1つ以上のオープレートの組合せは、その配向がこれらの要求を満たす限り、用いることができる。さらに、ある構成においては、負のCプレートは、グレースケールの線形性の減少を時には幾分伴うが、大きな視界におけるコントラスト比を増加させる。

【0036】液晶層、補償器層、および偏光子と検光子の層は、傾斜リターダを用いてこの発明の実施例を実現する際に、互いに関して様々な配向を有してもよい。考察されてきた可能な構成のいくつかは、表1で説明され、この表ではAはA-プレートを表わし、CはC-プレートを表わし、Oはオープレートを表わし、LCは液晶を表わし、O×Oは交差するOプレートを表わす。交差するOプレートは、方位角Φ (図1に規定) が、一方が0°と90°の間で配向され、2番目が90°と180°の間で配向されて、名目的に交差する、隣接するO-プレートである。

【0037】

【表1】

←----- 後 (ソース側)                      前 (視る人側) ----->

		O	A	LC			
		A	O	LC			
			O	LC	O	A	
	A	O	A	LC			
		O	A	LC	A		
	O	A	C	LC			
		O x O	A	LC			
	A	O x O	A	LC			
			A	LC	O x O	A	
A	O	A	C	LC			
		A	O	LC	O	A	
	A	O	C	LC	C	O	
	A	O	C	LC	C	O	A
	C	A	O	LC	O	A	C

液晶ディレクタに関する、ディスプレイの平面への主軸の射影は、実施例により変化できる。いくつかの事例では、たとえば2つのオープレートを用いた場合、オープレート軸の射影は、平均液晶ディレクタに関し45°であり、その他の事例では、オープレート軸は液晶ディレクタと並行する。

【0038】A-プレートを用いてさらに補償されるO

×O (交差するOプレート) 設計は、さらなる設計のフレキシビリティを提供する。Aプレートの値の選択は重要ではない、というのもこういった設計は、Aプレートの相対的配向を変化させることにより調節できるからである。したがって、市場で入手可能なAプレートリタデーションの値を用いて、望ましい解決を生むことも可能である。

【0039】図8ないし19は、対称、非対称、および交差するOプレート構成を含め、この発明に従ういくつかの可能なグレースケール補償構成を図示する。これらの図面は、各実施例に対し、成分の構成、垂直および水平両方の見る角度に対するBV特性、および計算された等コントラスト曲線を示す。図8ないし11は、Aプレート、Oプレート、およびCプレートを液晶層の片側に配置し、CプレートおよびOプレートを反対側に配置した、非対称の構成(A-O-C-LC-C-O)を示す。図12ないし15は、液晶層の一方の側で交差するOプレートを用いた構成(A-O×O-A-LC)を示す。最後に、図16ないし19は、液晶層の一方の側の上の1つのOプレートおよび1つのAプレート(A-A-LC)である、2つの補償器成分のみを用いた、シンプルな構成を示す。この発明の傾斜補償方式がディスプレイの設計者に提供するフレキシビリティにより、性能を特定のディスプレイ製造要求に適合させることが可能になる。たとえば、シンプルな構成とパラメータの修正を用いて、左または右から見ることにに対し最適化されたアイソコントラスト、極限的な垂直角で見ることにに対し最適化されたアイソコントラスト、または通常よりも大きな左および右の両方の角度で見ることにに対し最適化されたアイソコントラストを達成することが可能である。構成およびパラメータを調節し、視界およびグレースケールの線形性を向上させるか、または一方を他方の犠牲にしてどちらかをさらに最適化させることもまた可能である。さらに、負に複屈折のAプレートを、正のAプレートに代替してもよい。この場合、負に複屈折のAプレートは、その異常軸を、正に複屈折のAプレートに適した配向に直角をなすように配向されるだろう。負のAプレートが用いられるときに性能を最適化するためには、補償器のその他の成分において、さらなる変更がまた要求されるだろう。

【0040】この発明の好ましい実施例が上記に図示され述べられている。しかし修正およびさらなる実施例が、当業者には明らかであることは疑いない。たとえば、別の可能な実施例は、補償器層を、ディスプレイ構造における1つ以上の基板として利用するだろう。さらに、この発明は、グレースケールが傾斜されたディレクタの構成を通して実施される限り、90°ねじれのネマチック以外の液晶ディスプレイにも応用できる。この発明はまた、カラーフィルタがディスプレイの電極のレイ

に、等価要素をこの明細中で図示し、述べた要素と代替させてもよく、パーツまたは接続を逆にするかまたはそうでなければ交換してもよく、この発明のある特徴をその他の特徴から独立させて利用してもよい。付け加えて、アクティブマトリックス回路といった液晶ディスプレイの詳細は、液晶ディスプレイの技術においては周知であるため示されない。したがって、例示の実施例は、包括的というよりもむしろ例示的とみなされるべきであり、一方前掲の特許請求の範囲はこの発明の範囲全体をよりよく示すものである。

【0041】この明細書中で参照される、以下の文献の教示を、引用により援用する。

クラーク (Clerc)、米国特許番号第4,701,028号

クラーク、「垂直アライメント液晶ディスプレイ (Vertically aligned Liquid-Crystal Displays)」、『SID 91 Digest』P. 758-761 (Society for Information Display 1991)

ゴッホ (Gooch) 等、「ねじれ角度 $\leq 90^\circ$ のねじれネマチック液晶構造の光学的特性 (The Optical Properties of Twisted Nematic Liquid Crystal Structures with Twist Angles  $\leq 90^\circ$ )」『Journal of Physics D, Volume 8』P.1575 (1975)

ハトー (Hatch) 等、「超ねじれ液晶補償器を用いたTN LCDにおける視角拡大 (Viewing Angle Magnification in a TN LCD with an Ultra-Super-Twisted Liquid Crystal Compensator)」

イーダ (Iieda) 等、「液晶ディスプレイのためのカラー補償プレート (Color Compensation Plate for Liquid-Crystal Display)」日本公開特許公報番号JP0302882 A2 (1991年2月7日)

カーン (Kahn)、「液晶デバイスの分子物理学 (The Molecular Physics of Liquid-Crystal Devices)」、『Physics Today』P.68 (1982年5月)

マックロード (MacLeod)、「薄膜の構造に関連する光学的特性 (Structure-related Optical Properties of Thin Films)」、『J. Vac. Sci. Technol. A, Volume 4, No.3』P.418-422 (1986)

モトヒロ (Motohiro) 等、「斜角堆積による薄膜リタデーションプレート (Thin Film Retardation Plate by Oblique Deposition)」、『Appl. Opt., Vol.28, No.13』P.2466-2482 (1989)

ヤマモト等、「全円錐形広視角マルチカラーCSH-LCD (Full-Cone Wide-Viewing-Angle Multicolor CSH-LCD)」、『SID 91 Digest』P.762-765 (Society for Information Display 1991)

イエー (Yeh) 等、「液晶ディスプレイのための補償器 (Compensator for Liquid Crystal Display)」米国特許番号第5,196,953号

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の詳述において、成分の配向を特定す

るために用いられる座標系を示す図である。

【図2】この発明に従って構成された、 $90^\circ$ ねじれネマチック、透過型の通常は白い液晶ディスプレイ(LCD)の、概略側面断面図である。

【図3】 $90^\circ$ ねじれネマチック液晶セルにおける位置の関数(水平軸に沿う深度の分数 $z$ )として、(垂直軸に沿う角度で)ディレクタの傾斜角を示す図である。

【図4】同じセルに対する関連の図であり、セルにおける位置の関数としての液晶分子のねじれ角を示す図である。

【図5】この発明により提供されるグレースケールの改良の利点を用いずに、典型的なねじれネマチックディスプレイに対する、様々な水平の見る方向での、計算された、明るさ対電圧(BV)電気光学的曲線を示す図である。

【図6】この発明により提供されるグレースケールの改良の利点を用いずに、典型的なねじれネマチックディスプレイに対する、様々な垂直の見る方向における、計算された、明るさ対電圧(BV)電気光学的曲線を表わす図である。

【図7】液晶の平均ディレクタの配向に関する、視る人のパースペクティブを示す図である。

【図8】この発明に従って構成された、AOC-LC-CO構成を用いた、グレースケール補償器の拡大図である。

【図9】図8に示される補償器の構成に対する、様々な水平の見る角度でのBV特性を図示する、電圧の関数としての透過された光の図である。

【図10】図8に示される補償器の構成に対する、様々な垂直の見る角度でのBV特性を図示する、電圧の関数としての透過された光の図である。

【図11】図8に示される補償器の構成に対する、計算

されたアイソコントラスト等高線を示す、垂直および水平の見る角度の関数としての図である。

【図12】この発明に従って構成される、A-O×O-A-LC構成を用いた、グレースケール補償器の概略拡大図である。

【図13】図12に示される補償器の構成に対する、様々な水平の見る角度での、BV特性を図示する、電圧の関数としての透過された光を示す図である。

【図14】図12に示された補償器の構成に対する、様々な垂直の見る角度での、BV特性を図示する、電圧の関数としての透過された光の図である。

【図15】図12に示された補償器の構成に対する、計算されたアイソコントラスト等高線を示す、垂直および水平の見る角度の関数としての図である。

【図16】この発明に従い構成された、O-A-LC構成を用いた、グレースケール補償器の概略拡大図を示す。

【図17】図16に示される補償器の構成に対する、様々な水平の見る角度での、BV特性を図示する、電圧の関数としての透過された光を示す図である。

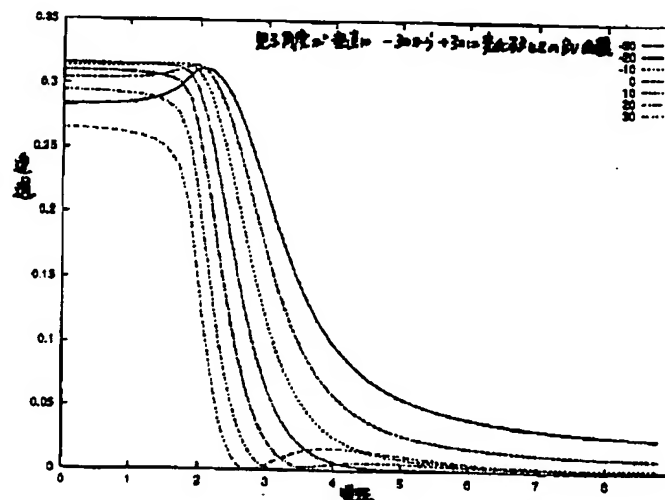
【図18】図16に示された補償器の構成に対する、様々な垂直の見る角度での、BV特性を図示する、電圧の関数としての透過された光を示す図である。

【図19】図16に示された補償器の構成に対する、計算されたアイソコントラスト等高線を示す、垂直および水平の見る角度の関数としての図である。

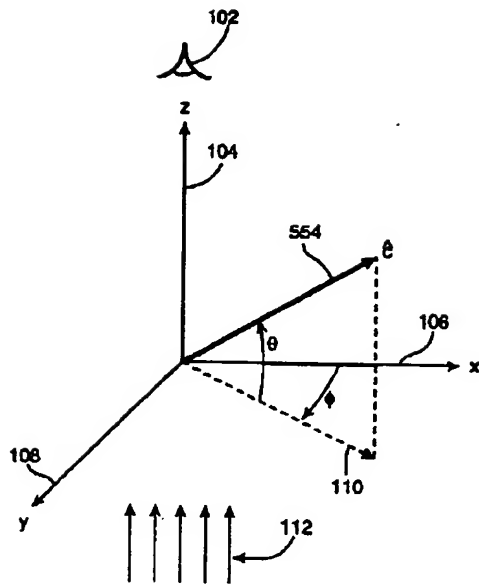
【符号の説明】

- 212 電極
- 222 偏光子層
- 224 検光子層
- 238 ガラスプレート
- 250 補償器層

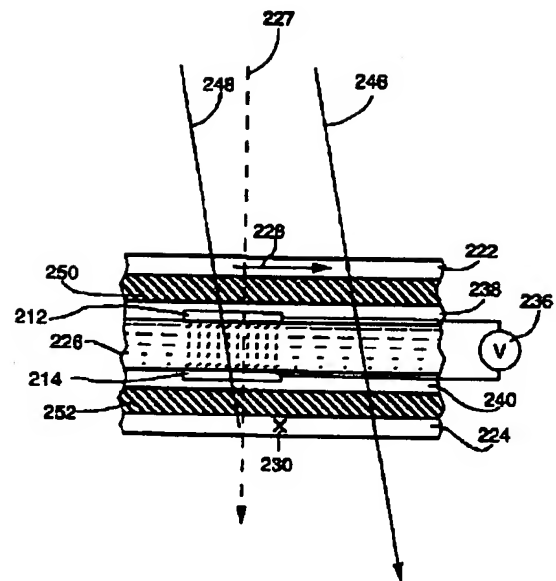
【図6】



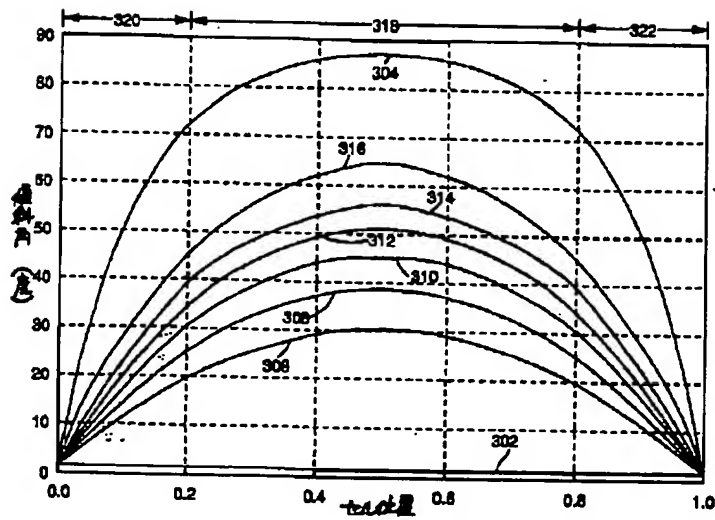
【図1】



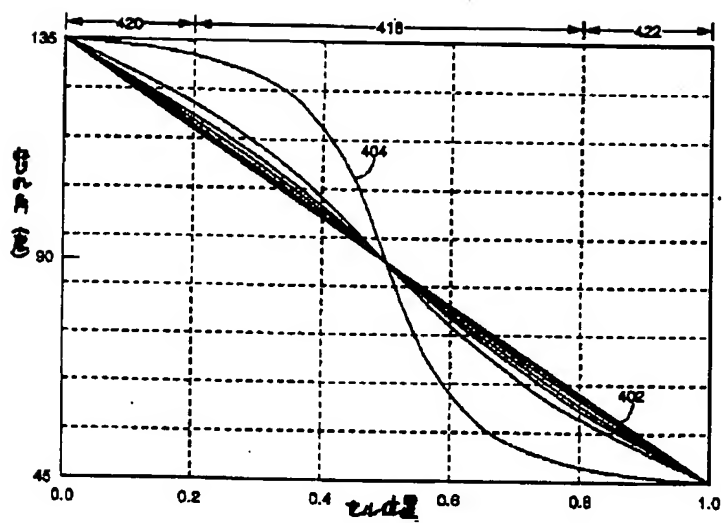
【図2】



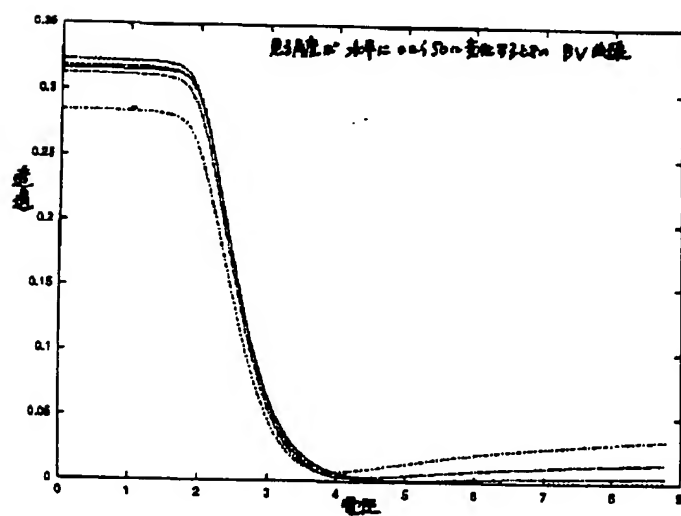
【図3】



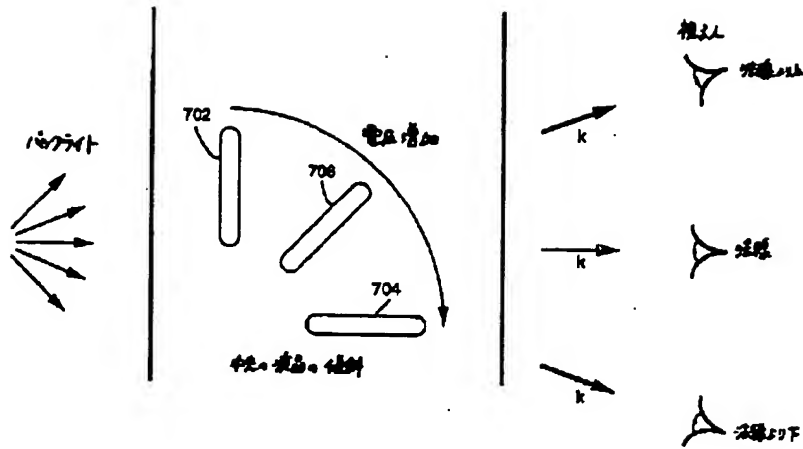
【図4】



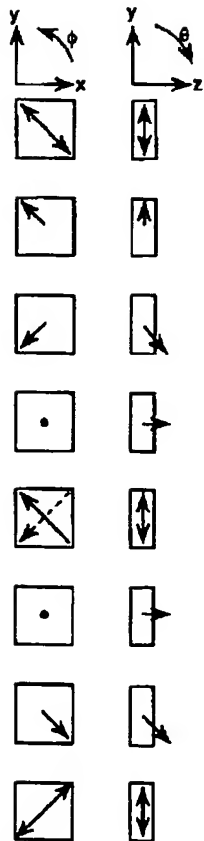
【図5】



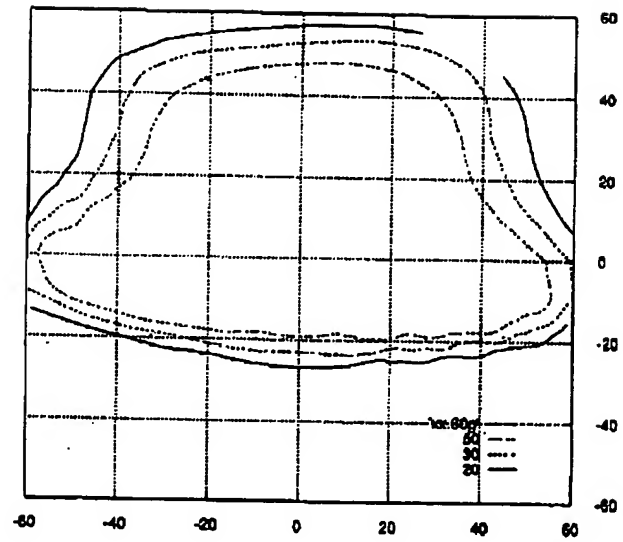
【図7】



【図8】

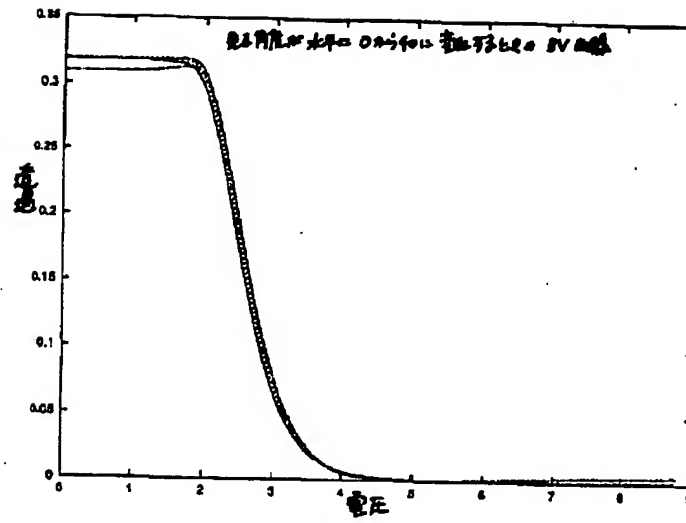
偏光子 透過軸  $\phi = 133^\circ$ A-光  
 $\phi = 137^\circ$   
 $\theta = 0^\circ$ O-光  
 $\phi = -135^\circ$   
 $\theta = 50^\circ$ C-光  
 $\theta = 90^\circ$ 偏光子  
透過軸  
 $\phi = 135^\circ$   
 $\phi = -135^\circ$ C-光  
 $\theta = 90^\circ$ O-光  
 $\phi = -45^\circ$   
 $\theta = 50^\circ$ 偏光子 透過軸  $\phi = 45^\circ$ 

【図11】

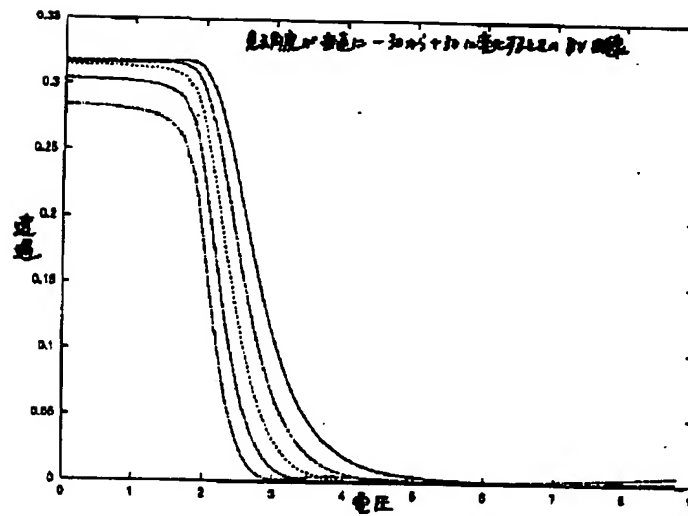




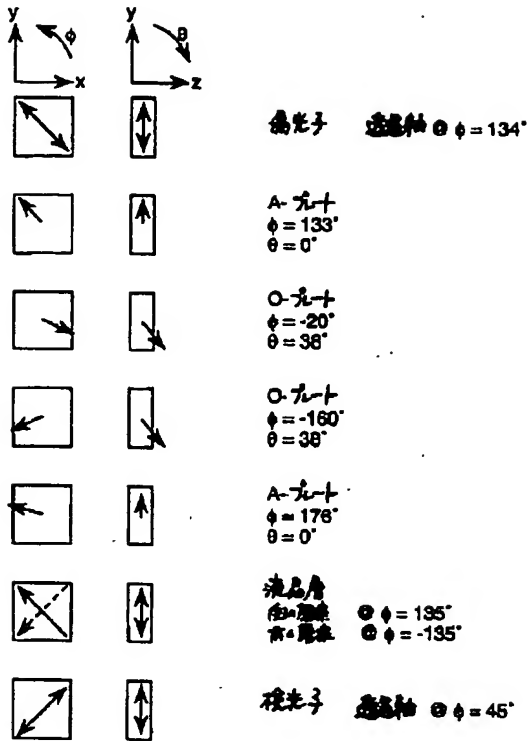
【図9】



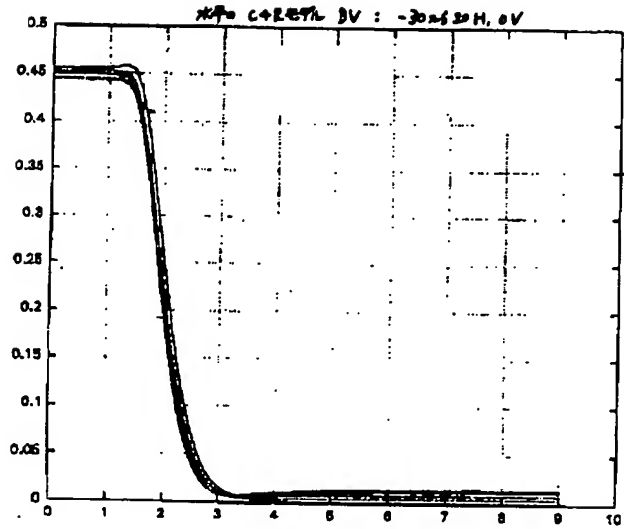
【図10】



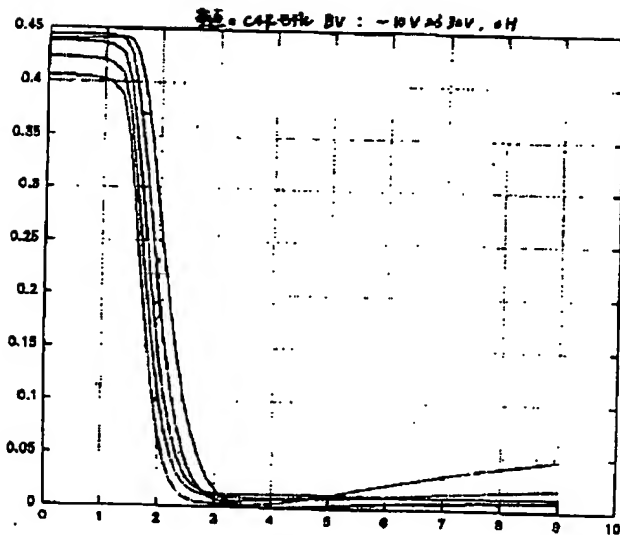
【図12】



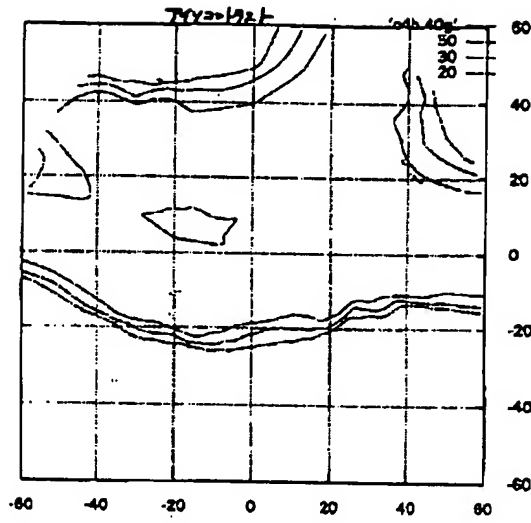
【図13】



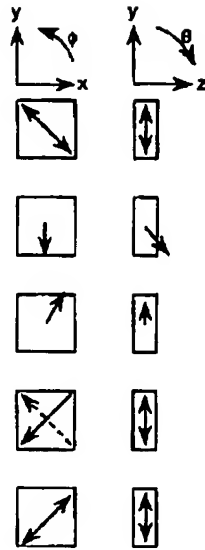
【図14】



【図15】



【図16】



偏光子 垂直軸  $\phi = 135^\circ$

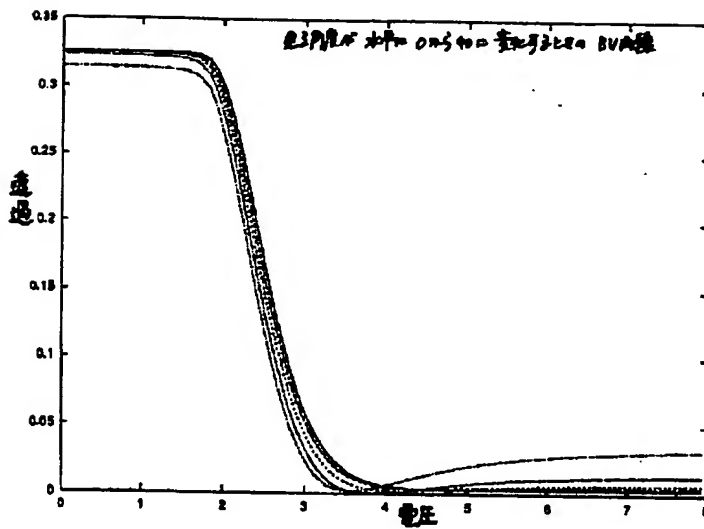
O-光  
 $\phi = 90^\circ$   
 $\theta = 42^\circ$

A-光  
 $\phi = 58^\circ$   
 $\theta = 0^\circ$

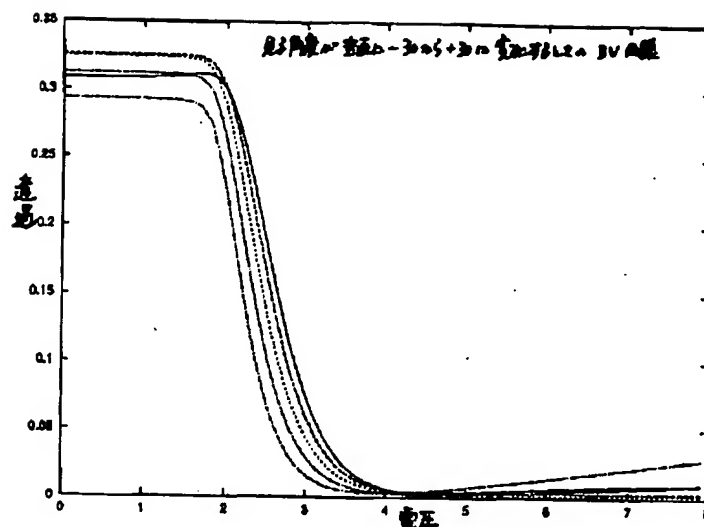
偏光子  
垂直軸  $\phi = 135^\circ$   
偏光子  $\phi = -135^\circ$

偏光子 垂直軸  $\phi = 45^\circ$

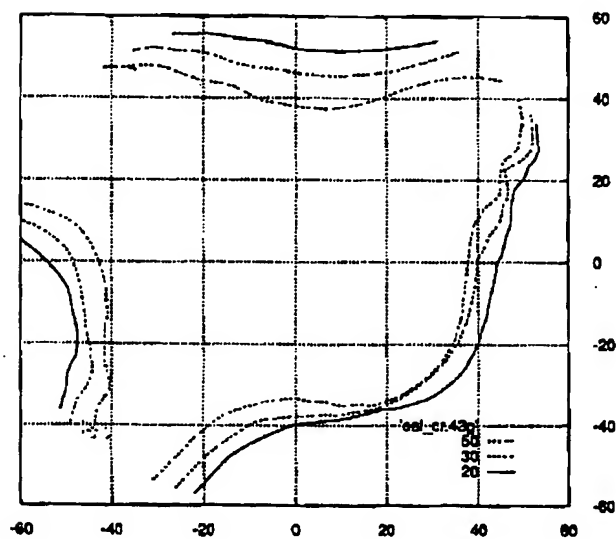
【図17】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

(72)発明者 ウィリアム・ジェイ・ガニング・ザ・サード  
アメリカ合衆国、91320 カリフォルニア州、ニューベリー・パーク、ケール・ペール・ビスタ、3924

(72)発明者 ドナルド・ビィ・テイパー  
アメリカ合衆国、91360 カリフォルニア州、サウザンド・オークス、ファーゴ・ストリート、562

(72)発明者 レオナルド・ジィ・ヘイル  
アメリカ合衆国、91320 カリフォルニア州、ニューベリー・パーク、エレン・コート、3056